

کنترل پیش بین خطی

گردآوری:

دکتر حمیدرضا رضا علیخانی

مهندس رضا اعظمی لرستان

نیاز دانش

مقدمه

این کتاب در نظر دارد مهمترین موضوعات MPC را با توجه به کاربردهای آن برای کنترل فرایند که از مقالات و جزوات اساتید و کتب دانشگاهی مهم، مثل E.F. Camacho و J.M. Maciejowski و... اقتباس شده، بررسی کند برای حصول این منظور مانند زیر طبقه‌بندی خواهد شد:

فصل ۲ عوامل اصلی را شرح می‌دهد که در هر فرمول MPC بهترین روش‌ها را مرور می‌کند خلاصه مرور بهترین روش‌ها نیز در این فصل آمده است.

فصل ۳ بر مدل کنترل‌کننده‌های پیش بین تجاری تأکید دارد. به دلیل این محبوبیت، GPC به طور مفصل در فصل ۴ بررسی می‌شود. دو روش مرتبط که ویژگی‌های پایداری را نشان می‌دهند (CRHPC, SGPC) نیز شرح داده شده‌اند.

فصل ۵ GPC را نشان می‌دهد که چگونگی کاربرد تنوع گسترده‌ای از دستگاه‌ها در صنعت فرایند با استفاده از برخی انواع قوانین تنظیم Ziegler-Nichols به کار می‌گیرد. با استفاده از این موارد اجرای GPC به طور قابل ملاحظه‌ای ساده شده است و زمان و بار محاسباتی کمتری از اجرای GPC را به کار می‌برند.

خصوصاً قوانین بدست آمده برای دستگاههایی که توسط روش منحنی واکنش مدل‌سازی شده‌اند و بیشتر دستگاه‌های هماهنگ‌کننده در صنعت، برای مورد تطبیقی صرفه نظر شده‌اند. قوام این روش بررسی می‌شود. حلقه بسته مورد مطالعه قرار می‌گیرد که محدودیت‌های عدم قطعیت را تعریف و پایداری فرآیند واقعی را از زمانی نشان دهد که GPC طراحی شده را برای مدل اسمی کنترل کند.

فصل ۶ به بررسی پایداری در کنترل پیش‌بین می‌پردازد و سعی دارد مباحثی مانند: محدودیت نهایی که پایداری را تضمین کند، افق‌های نامحدود، جعل معادلات جبری ریکاتی، استفاده از پارامتری کردن youla را مطرح بنماید.

فصل ۷ با عنوان تنظیم (tuning) مطرح شده است حال سوال اساسی اینجاست که ما در این فصل سعی در انجام چه کاری داریم که در متن کتاب به این سوال پاسخ داده خواهد شد همچنین به بررسی برخی موارد خاص، تجزیه و تحلیل پاسخ فرکانسی، نمونه‌های اختلال و حرکات رویت گر، مسیر مرجع و فیلتر پیشین (پیش فیلترینگ) خواهیم پرداخت.

روش اجرای GPC بر روی فرآیندهای چند متغیری که اغلب در صنعت دیده می‌شود در فصل ۸ آمده است. برخی مثال‌ها به موضوعات اجرایی مثل زمان‌های مرده مربوط هستند. اگرچه در عمل همه فرایندها به محدودیت‌هایی اشاره دارند که بیشتر کنترل‌کننده‌های موجود آنها را به طور واضح بررسی نمی‌کنند. یکی از مزایای MPC این است که به طور واضح به محدودیت‌ها مرتبط است. فصل ۹، چگونگی اجرای MPC بر روی موضوع فرآیندهای مرتبط با محدودیت را نشان می‌دهد. اگرچه محدودیت‌ها نقش مهمی در صنعت ایفا می‌کند اما آنها بسیاری از فرمول‌ها را بررسی نمی‌کنند. کمینه‌سازی تابع هدف به طور واضح انجام نمی‌شود و راه حل عددی ضروری نیست. روش‌های عددی موجود ویرایش و برخی مثال‌ها و الگوریتم‌ها را شامل می‌شود. فصل ۱۰ و ۱۱، به اجرای مقاوم MPC مرتبط است. اگرچه آنالیز قوام در فصل ۵ برای GPC فرایندها اجرا می‌شود، که با روش منحنی واکنش شرح داده می‌شود. این فصل‌ها نشان می‌دهند که چگونه MPC به وضوح اجرا می‌شود تا عدم دقت و عدم قطعیت را محاسبه کند. کنترل‌کننده برای کمینه‌سازی تابع هدف برای بدترین وضعیت طراحی می‌شود. در آخر باید از همه کسانی که در تهیه و تنظیم این کتاب به ویژه سرکار خانم مریم مقدسی که در امر ویرایش و بازخوانی ما را یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را نماییم. مباحث کنترل پیش بین غیر خطی و همچنین طراحی و پیاده‌سازی کنترل پیش بین با استفاده از نرم افزار متلب در دو جلد متفاوت بررسی شده است. امید است این مجموعه کمکی در جهت رفع نیازهای کنترل پیش بین برای خوانندگان محترم باشد. از تمامی اساتید، صاحب نظران، دانشجویان و همه‌ی کسانی که این کتاب را مورد مطالعه قرار می‌دهند تقاضا داریم که تمامی نظرات اصلاحی خود را به آدرس الکترونیکی زیر ارسال نمایند .

Reza.azami1989@gmail.com

باسپاس از خانواده و عزیزانی که ما را در راه علم مشوق بودند و تقدیم به بزرگ
مردان ایران زمین که در جهت نشر علم تلاش بی وقفه کردند

شهریور ۱۳۹۴

فهرست مطالب

فصل ۱ معرفی مدل مبتنی بر کنترل پیش‌بین	۱۳
۱-۱ روش MPC	۱۵
۲-۱ بُعد تاریخی	۱۸
۳-۱ تکنولوژی صنعتی	۲۰
فصل ۲ مدل مبتنی بر کنترل‌کننده‌های پیش‌بین	۲۳
۱-۲ المان‌های MPC	۲۳
۱-۱-۲ مدل پیش‌بین	۲۳
۲-۱-۲ تابع هدف	۲۹
۳-۱-۲ بدست آوردن قانون کنترل	۳۲
۲-۲ بازبینی برخی الگوریتم‌های MPC	۳۳
۳-۲ کنترل پیش‌بین غیر خطی	۳۷
۱-۳-۲ مدل‌های غیر خطی	۳۸
۲-۳-۲ تکنیک‌ها برای کنترل پیش‌بین غیر خطی	۳۹
فصل ۳ مدل تجاری آرایش‌های کنترل پیش‌بین (نظارت)	۴۳
۱-۳ کنترل ماتریس دینامیک	۴۳
۱-۱-۳ پیش‌بینی	۴۴
۲-۱-۳ اغتشاشات قابل اندازه‌گیری	۴۵
۳-۱-۳ الگوریتم کنترل	۴۶
۲-۳ کنترل الگوریتمی مدل	۴۸
۱-۲-۳ مدل فرایند و پیش‌بینی	۴۹
۲-۲-۳ قانون کنترل	۵۰
۳-۲-۳ فرایندهای چندمتغیری	۵۱
۳-۳ کنترل عملی پیش‌بینی‌کننده	۵۲

- ۵۲..... ۱-۳-۳ فرمول
- ۵۵..... ۴-۳ نمونه تحقیق: گرم‌کننده‌ی آب (آبگرمکن)

فصل ۴ کنترل پیش‌بینی تعمیم یافته..... ۶۱

- ۶۱..... ۱-۴ مقدمه
- ۶۲..... ۲-۴ فرمول‌بندی کنترل پیش‌بین تعمیم یافته
- ۶۷..... ۳-۴ مسئله‌ی نویز رنگی
- ۶۸..... ۴-۴ مثال
- ۷۲..... ۵-۴ رابطه‌های حلقه‌ی بسته‌شده
- ۷۵..... ۶-۴ نقش چندجمله‌ای T
- ۷۶..... ۱-۶-۴ انتخاب چندجمله‌ای T
- ۷۶..... ۲-۶-۴ روابط با دیگر فرمول‌بندی‌ها
- ۷۷..... ۷-۴ چندجمله‌ای P
- ۷۸..... ۸-۴ موضوع اغتشاشات قابل اندازه‌گیری
- ۸۰..... ۹-۴ استفاده‌ی یک پیش‌بین متفاوت در GPC
- ۸۱..... ۱-۹-۴ ساختار معادل
- ۸۵..... ۲-۹-۴ یک مثال مقایسه‌ای
- ۸۶..... ۱۰-۴ کنترل پیش‌بین افق باز دارنده‌ی محدود شده
- ۸۸..... ۱-۱۰-۴ محاسبه‌ی قانون کنترل
- ۹۱..... ۲-۱۰-۴ ویژگی‌ها
- ۹۲..... ۱۱-۴ GPC پایدار
- ۹۲..... ۱-۱۱-۴ فرمول‌بندی قانون کنترل

فصل ۵ اجرای ساده‌ی GPC برای فرایندهای صنعتی..... ۹۷

- ۹۸..... ۱-۵ مدل دستگاه
- ۹۹..... ۱-۱-۵ شناسایی دستگاه: روش منحنی واکنش
- ۱۰۰..... ۲-۵ ضریب زمان مرده برای مسئله نمونه برداری زمان
- ۱۰۰..... ۱-۲-۵ مدل دستگاه گسسته
- ۱۰۱..... ۲-۲-۵ فرمول مسئله
- ۱۰۴..... ۳-۲-۵ محاسبه‌ی پارامترهای کنترل‌کننده
- ۱۰۵..... ۴-۲-۵ نقش عامل توزین کنترل
- ۱۰۷..... ۵-۲-۵ الگوریتم پیاده‌سازی
- ۱۰۷..... ۶-۲-۵ یک مثال اجرایی
- ۱۱۰..... ۳-۵ زمان مرده غیرمضاعف از مسئله زمان نمونه‌برداری
- ۱۱۰..... ۱-۳-۵ مدل گسسته از دستگاه
- ۱۱۲..... ۲-۳-۵ پارامترهای کنترل‌کننده

۱۱۴	.....	مثال ۳-۳-۵
۱۱۷	.....	فرایندهای همانندی ۴-۵
۱۱۷	.....	استخراج قانون کنترل ۱-۴-۵
۱۱۹	.....	پارامترهای کنترلر ۲-۴-۵
۱۲۱	.....	مثال ۳-۴-۵
۱۲۴	.....	بررسی شیب ورودی مرجع ۵-۵
۱۲۶	.....	مثال ۱-۵-۵
۱۲۷	.....	مقایسه با GPC استاندارد ۶-۵
۱۲۹	.....	تجزیه و تحلیل پایداری مقاوم ۷-۵
۱۳۰	.....	عدم قطعیت‌های ساختار یافته ۱-۷-۵
۱۳۱	.....	عدم قطعیت‌های ساختار نیافته ۷-۵
۱۳۵	.....	اظهارات کلی ۳-۷-۵
۱۳۵	.....	ساختار کنترل در تقطیرکننده ۸-۵
۱۳۶	.....	توصیف فرایند ۱-۸-۵
۱۳۸	.....	بدست آوردن مدل خطی ۲-۸-۵
۱۳۹	.....	طراحی کنترل کننده ۳-۸-۵
۱۴۰	.....	نتایج ۴-۸-۵

۱۴۷	.....	فصل ۶ پایداری
۱۴۹	.....	قیدهای نهایی تضمین کننده پایداری ۱-۶
۱۵۳	.....	افق‌های نامتناهی ۲-۶
۱۵۳	.....	افق‌های بی‌نهایت، پایداری دهنده ۱-۲-۶
۱۵۷	.....	محدودیتها و افق‌های بی‌نهایت - دستگاه پایدار ۲-۲-۶
۱۵۹	.....	قیدها و افق‌های بی‌نهایت - دستگاه ناپایدار ۳-۲-۶
۱۶۱	.....	معادلات ریکاتی جبری تقلبی ۳-۶
۱۶۵	.....	استفاده از پارامتری کردن Youla ۴-۶

۱۷۱	.....	فصل ۷ تنظیم
۱۷۱	.....	ما سعی در انجام چه کاری هستیم؟ ۱-۷
۱۷۵	.....	برخی موارد خاص ۲-۷
۱۷۵	.....	تأثیر توزین کنترل ۱-۲-۷
۱۷۵	.....	کنترل میانگین سطح ۲-۲-۷
۱۷۶	.....	کنترل ضربه - مرده ۳-۲-۷
۱۷۷	.....	کنترل کامل ۴-۲-۷
۱۸۴	.....	تجزیه و تحلیل پاسخ فرکانس ۳-۷
۱۸۵	.....	مدلهای اغتشاش دینامیک روایتگر ۴-۷

۱۸۵	مدلهای اغتشاش	۱-۴-۷
۱۸۸	دینامیک روایتگر	۲-۴-۷
۱۹۵	مسیر مرجع و پیش فیلتر	۵-۷

۲۰۳	فصل ۸ MPC چندمتغیره	
۲۰۴	استخراج GPC چندمتغیری	۱-۸
۲۰۴	مسئله نویز سفید	۱-۱-۸
۲۰۸	مسئله نویز رنگی	۲-۱-۸
۲۱۱	اغتشاشات قابل اندازه گیری	۳-۱-۸
۲۱۴	بدست آوردن یک توصیف کسری ماتریس	۲-۸
۲۱۴	مثال ماتریس انتقال	۱-۲-۸
۲۱۹	شناسایی پارامتری	۲-۲-۸
۲۲۰	فرمول نویسی فضای حالت	۳-۸
۲۲۲	معادل فضای حالت و کسر ماتریس	۱-۳-۸
۲۲۵	مشکلات زمان تلف شده	۴-۸
۲۲۹	مثال: ستون تقطیر	۵-۸
۲۳۳	کاربرد DMC برای یک راکتور شیمیایی	۶-۸
۲۳۳	توصیف دستگاه	۱-۶-۸
۲۳۵	بدست آوردن مدل دستگاه	۲-۶-۸
۲۳۷	قانون کنترل	۳-۶-۸
۲۳۸	نتایج شبیه سازی	۴-۶-۸

۲۴۱	فصل ۹ MPC مقید	
۲۴۲	قیدها و MPC	۱-۹
۲۴۶	مثالهای گویا	۱-۱-۹
۲۵۰	قیدها و بهینه سازی	۲-۹
۲۵۲	اصلاح الگوریتمهای اصلی برنامه نویسی درجه دوم	۳-۹
۲۵۲	روشهای مجموعه فعال	۱-۳-۹
۲۵۴	روش جهت های عملی	۲-۳-۹
۲۵۶	نقطه عملی اولیه	۳-۳-۹
۲۵۷	روشهای محوری (pivoting)	۴-۳-۹
۲۶۰	کنترل دستی قیدها	۴-۹
۲۶۰	قیدهای میزان Slew	۱-۴-۹
۲۶۱	قیدهای دامنه (amplitude)	۲-۴-۹
۲۶۲	قیدهای خروجی	۳-۴-۹
۲۶۳	کاهش قیدها	۴-۴-۹

۲۶۵	۵-۹ نرم ۱
۲۶۶	۶-۹ مورد مطالعاتی: کمپرسور
۲۶۹	۷-۹ مدیریت قید
۲۶۹	۱-۷-۹ امکان پذیری
۲۷۱	۲-۷-۹ روش‌هایی برای بهبود امکان پذیری
۲۷۳	۸-۹ MPC مقید و پایداری
۲۷۶	۹-۹ MPC چندمنظوره
۲۷۸	۱-۹-۹ اولویت‌بندی اهداف

فصل ۱۰ قوام در کنترل پیش‌بین

۲۸۱	۱-۱۰ مدل‌های فرایند و عدم قطعیت
۲۸۳	۱-۱-۱۰ عدم قطعیت پاسخ ضربه کوتاه
۲۸۴	۲-۱-۱۰ شرح عدم قطعیت ماتریس کسری
۲۸۶	۳-۱-۱۰ عدم قطعیت‌های کلی
۲۸۸	۲-۱۰ توابع هدف
۲۸۹	۱-۲-۱۰ نرم دو
۲۹۰	۲-۲-۱۰ نرم $\infty-\infty$
۲۹۲	۳-۲-۱۰ نرم ۱
۲۹۴	۳-۱۰ مثال‌های توضیحی
۲۹۴	۱-۳-۱۰ کران‌ها بر روی خروجی
۲۹۶	۲-۳-۱۰ عدم قطعیت‌ها در بهره
۲۹۶	۴-۱۰ MPC مقاوم و عدم تساوی ماتریس خطی

فصل ۱۱ کنترل پیش‌بین مقاوم

۳۰۳	۱-۱۱ فرمول‌بندی کنترل مقاوم
۳۰۴	۱-۱-۱۱ نرم کراندار عدم قطعیت
۳۰۶	۲-۱-۱۱ عدم قطعیت چندضابطه‌ای
۳۰۷	۲-۱۱ روش تنظیم Yu و Lee
۳۰۷	۱-۲-۱۱ اغتشاش و مدل نویز
۳۱۱	۲-۲-۱۱ روش تنظیم
۳۱۲	۳-۱۱ روش تنظیم LQG/LTR
۳۲۱	۴-۱۱ روش LMI
۳۲۱	۱-۴-۱۱ برداشت کلی
۳۲۲	۲-۴-۱۱ قوام بدون قید
۳۲۵	۳-۴-۱۱ قوام با قیدها
۳۲۸	۵-۱۱ امکان‌پذیری مقاوم

۳۲۸	.....	۱-۵-۱۱	حداکثر مجموعه‌های مجاز خروجی
۳۳۰	.....	۲-۵-۱۱	مجموعه‌های ثابت و مجاز مقاوم
فصل ۱۲ مدل کنترل پیش‌بین و سیستم‌های هیبریدی			
۳۳۷	.....	
۳۳۸	.....	۱-۱۲	مدلسازی سیستم هیبریدی
۳۴۰	.....	۲-۱۲	مثال: جداره خنک شده بچ راکتور (Batch Reactor)
۳۴۲	.....	۱-۲-۱۲	سیستم ترکیبی دینامیکی منطقی
۳۴۴	.....	۲-۲-۱۲	مثال
۳۴۷	.....	۳-۱۲	مدل کنترل پیش‌بین سیستم‌های MLD
۳۴۸	.....	۱-۳-۱۲	برنامه‌نویسی ترکیب عدد صحیح شاخه و کران
۳۵۱	.....	۲-۳-۱۲	یک مثال واضح
۳۵۲	.....	۴-۱۲	سیستم‌های نسبی قطعه‌ای تکراری (Piecewise Affine)
۳۵۶	.....	۱-۴-۱۲	مثال: تانک با بخش‌های مناطق مختلف
۳۵۸	.....	۲-۴-۱۲	مجموعه دسترسی، مجموعه قابل کنترل و الگوریتم STG
۳۶۰	.....		پیوست: شبیه‌سازی تمرین ۴ از فصل ۴ (GPC) با استفاده از نرم‌افزار متلب
۳۶۲	.....		مراجع